

УДК 621.383.51

ФИЗИКА

Член-корр. АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц, С. А. Тарумян**Преобразование солнечной энергии в электрическую
с использованием голографических концентраторов**

(Представлено 2/VI 1984)

Фотопреобразователи изготавливались из $p-p^+$ кремния, где эпитаксиально выращенный p -слой имел толщину $10 \div 15$ мкм. R -слой образовался диффузией бора со стороны p открытым способом без газовой продувки (¹). Глубина залегания $p-p$ перехода составила $3 \div 4$ мкм. Использование p^+ кремния позволяет получить приборы с достаточно низким базовым сопротивлением, что, как известно, приводит к возрастанию тока короткого замыкания $I_{кз}$ и увеличению к.п.д. η . При облучении со стороны r -слоя указанные параметры фотопреобразователей должны быть лучше, чем в приборах без эпитаксиального p -слоя, так как время жизни неосновных носителей в этом слое больше, чем в p^+ слое. Подобная структура, но с r -типа базой, рассмотрена в (²). Эффективная площадь изготовленных образцов составила приблизительно 10 мм^2 . Свойства фотопреобразователей исследовались при однократном и концентрированном солнечном облучении.

Как известно, интенсивность солнечного облучения в данной точке поверхности земли сильно зависит как от состояния атмосферы, так и от высоты солнца над горизонтом. В ясный, солнечный день измеренная нами интегральная мощность этого облучения составила $0,05 \div 0,1 \text{ Вт/см}^2$. Однако следует указать, что чувствительность фотопреобразователей зависела не только от величины падающей мощности, но и от момента проведения измерений. Последнее связано с изменением во времени спектральной интенсивности падающих на образец солнечных лучей, что в свою очередь обусловлено изменением состава и плотности частиц и газов, находящихся в атмосфере в данном регионе. Измеренные нами наибольшие величины $I_{кз}$ и напряжения холостого хода U_{xx} при максимальной интенсивности облучения составили соответственно $1,6 \text{ мА}$ и $0,42 \text{ В}$. Измеренная максимальная величина коэффициента полезного действия при интегральном солнечном облучении составила $4,2\%$. Хотя интенсивность этого облучения в течение дня менялась в два раза, нам все же не удалось установить какие-либо зависимости $I_{кз}$, U_{xx} и η от падающей мощности, так как чувствительность фотопреобразователей сильно зависит и от спектральной интенсивности света. Как уже было отмечено, при одной и той же падающей мощности излучения величины указанных параметров сильно зависят от времени проведения измерений, когда успевают меняться примесный и процентный состав атмосферы.

Дальнейшие исследования свойств фотопреобразователей были выполнены с помощью голографического концентратора с рабочей поверхностью 12×12 см². До проведения измерений были изучены концентрирующие свойства этой линзы. Наблюдения показали, что при перпендикулярном падении параллельных световых лучей на поверхность пластины последняя разлагает белый свет на системы спектров с фокусами, расположенными на линии, проходящей через центр концентратора и параллельной направлению падающих световых лучей. Размеры цветowych пятен на фокальной плоскости возрастают с удалением от концентратора. В каждой системе спектра цвета начиная от красного, который расположен ближе к концентратору, чередуются в соответствии с уменьшением длины волны. При этом за фиолетовым цветом одной системы спектра располагается красный цвет следующей системы. Интенсивность цветов, оцениваемая визуально, в первой системе спектра, которая расположена ближе к концентратору, довольно слаба по сравнению с другими пакетами.

При исследовании концентрирующих свойств разных участков голографической линзы выяснилось, что центральные области отклоняют лучи сильнее, чем периферийные части. Таким образом, наблюдаемые пакеты цветов являются следствием уменьшения угла отклонения падающих лучей по мере удаления от центральных областей линзы. Нами была определена также степень концентрации падающих лучей. Для этого на черной бумаге вырезалось окошечко размерами 3×3 мм², и она накладывалась на линзу так, чтобы закрылись все остальные части, кроме этого окошечка. На расстоянии 10 см от линзы мы получали три неперекрывающихся изображения вырезанного окошечка. Среднее изображение соответствовало неотклоненным лучам, а два других — отклоненным. Причем одно из них отклонялось к оси линзы, проходящей через ее середину, а другое отходило от этой оси. Таким образом, только первый отклоненный луч давал вклад в концентрированную мощность. Измеренная величина этой мощности составляет 20% от первичной падающей мощности.

Исследования показали, что целесообразнее измерения параметров фотопреобразователей проводить во второй системе спектров, где интенсивность концентрированных пучков наибольшая, а размеры пятен составляют около 6×6 мм². Следует отметить, что при облучении концентратора расходящимися пучками от лампы накаливания размеры цветowych пятен в $2 \div 3$ раза больше, чем при освещении перпендикулярными световыми пучками. Измерения показали, что при солнечном облучении максимальная чувствительность фотопреобразователей проявляется при красном свете. Чувствительность приборов падает по мере их передвижения в сторону фиолетовой части спектра. На рис. 1 представлена зависимость тока короткого замыкания от мощности облучения. Изменение мощности сопровождается также изменением длины волны света, так как представленная на рисунке кривая получена при помещении образцов в разные максимумы спектра. При падающей интегральной мощности $0,1$ Вт/см² на концентратор наибольшая величина тока короткого замыкания приборов с площадью 10 мм² на красном свете второй системы спектров составила 22 мА. На рис. 2

представлена зависимость к.п.д. фотопреобразователей от длины волны света. В указанном интервале изменения длин волн падающая на образец мощность меняется в два раза. Как видно из рис. 1 и 2, в

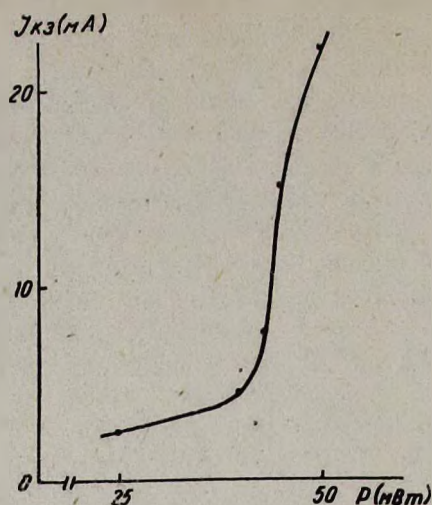


Рис. 1. Зависимость тока короткого замыкания от мощности излучения, падающего на образец (длина волны меняется от фиолетового до красного)

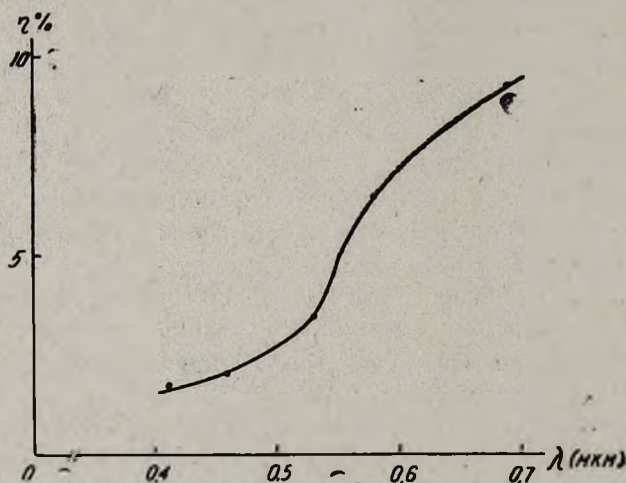


Рис. 2. Зависимость к.п.д. фотопреобразователей от длины волны излучения (мощность меняется согласно рис. 1)

указанном интервале изменения длин волн и мощностей наибольшая селективная величина к.п.д. составила 9,2%, интегральная же величина к.п.д. составила около $10^{-2}\%$.

Следует заметить, что концентрированная на образец мощность красных лучей была равна 0,05 Вт, в то время как падающая интегральная мощность на ту же площадь составила 0,012 Вт. Таким образом, изменение падающей мощности в 4 раза привело к увеличению тока короткого замыкания в 15 раз. Нарушение линейной зависимости

$I_{\text{кн}}$ от падающей мощности вызвано изменением спектрального состава излучения.

При освещении голографического концентратора расходящимися пучками света от лампы накаливания были получены несколько иные закономерности изменения параметров фотопреобразователей. В частности, выяснилось, что максимальная чувствительность приборов наблюдается в сине-фиолетовой части спектра, в то время как падающая мощность наибольшая в красной части. Это противоречие легко можно понять, если учесть, что цвета в спектре различались визуально. То обстоятельство, что наибольшая мощность приходится на красную область, а максимальная чувствительность наблюдается в фиолетовой части спектра, свидетельствует о том, что измеряющий мощности прибор регистрирует и инфракрасные лучи следующего пакета длин волн. Иначе говоря, происходит перекрытие фиолетовой области одного пакета инфракрасной областью следующего пакета длин волн. Из приведенных рассуждений следует, что концентрирующие и разлагающие в спектр свойства голографических концентраторов лучше проявляются при параллельных пучках света. Добавим также, что максимальное значение селективного к.п.д. составило около 6,5%. Такие низкие значения к.п.д. объясняются малой мощностью света, отдаваемой лампой накаливания.

Резюмируя вышесказанное, мы приходим к выводу, что в сочетании с фотопреобразователями могут быть эффективно использованы те голографические концентраторы, которые концентрируют белый свет в одной точке, не разлагая в спектр, либо разлагают в спектр в перпендикулярном к падающему пучку направлении. В последнем случае в каждом цветовом фокусе можно поместить по одному фотопреобразователю, что в принципе невозможно сделать в вышеописанном концентраторе. Целесообразность использования голографических концентраторов, не разлагающих белый свет в спектр, может быть обоснована тщательным экономическим анализом, доказывающим эффективность последних как по сравнению с зеркальными концентраторами, так и при получении определенной мощности от фотопреобразователей без концентраторов.

Если через $C_{\text{к}}$ обозначить стоимость одного ватта электроэнергии, получаемой с помощью концентраторов, а через $C_{\text{б}}$ —стоимость одного ватта с установки без концентратора, то нетрудно показать наличие следующего соотношения:

$$\frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{б}}} = \frac{C \cdot S}{M \cdot C \cdot S_{\text{ф}}} \left(1 + \frac{C_{\text{к}}}{C \cdot S_{\text{фк}}} \right) \frac{\eta_{\text{ф}}}{\eta_{\text{к}}} \cdot \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{фк}}}, \quad (1)$$

где $CS_{\text{фк}}$ —стоимость кремниевых фотопреобразователей с площадью $S_{\text{фк}}$ в установке с концентратором, $CS_{\text{ф}}$ —стоимость кремниевых фотопреобразователей в установке без концентратора, $C_{\text{к}}$ —стоимость концентратора, M —кратность мощности по солнцу, падающему на площадь $S_{\text{фк}}$, $\eta_{\text{ф}}$ —к. п. д. фотопреобразователя без концентратора, $\eta_{\text{к}}$ —то же самое, но уже с концентратором. Из приведенной формулы видно, что если $C_{\text{к}}/C_{\text{б}} < 1$, то стоимость одного ватта на установ-

ке с концентратором дешевле, чем без концентратора и, таким образом, его использование экономически выгодно.

В нашем случае можно взять $M=5$, $\frac{C \cdot S_{\text{фк}}}{C \cdot S_{\text{ф}}} \cdot \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{фк}}} \sim 1$, $\frac{\eta_{\text{ф}}}{\eta_{\text{к}}} \sim \frac{1}{2}$; тогда будем иметь

$$\frac{C_{\text{к}}}{C_0} \sim \frac{1}{10} \left(1 + \frac{C_{\text{к}}}{C \cdot S_{\text{фк}}} \right). \quad (2)$$

Из (2) видно, что даже если концентратор несколько дороже фотопреобразователя, стоящего в этой установке, стоимость одного ватта энергии на установке с концентратором меньше, чем в установке без концентратора (причем в обоих случаях падающие энергии одинаковы). Однако если мощности, отбираемые с установок без концентратора и с концентратором, одинаковы, то соотношение стоимостей одного Ватта имеет иной вид, чем приведено в выражении (1). На этом, однако, мы здесь не будем останавливаться.

В конце авторы выражают свою благодарность Р. М. Мартиросяну за предоставление плоских концентраторов.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՄՍՀ ԳԱ բերական անդամ Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆՑ, Ս. Ա. ԹԱՌՈՒՄՅԱՆ

Արեգակնային էներգիայի փոխակերպումը էլեկտրականի
հոլոգրաֆիական խտացուցիչների օգտագործմամբ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է հոլոգրաֆիական ոսպնյակների հատկությունները և սիլիցիումային ֆոտոփոխակերպիչների պարամետրերի փոփոխությունները խտացված ճառագայթների ազդեցության տակ: Ցույց է տրված, որ ընկնող լուսային հոսքի միայն 20% է թեքվում դեպի ոսպնյակի օպտիկական առանցքը՝ այդ առանցքի երկարությամբ տրոհվելով մի քանի սպեկտրալ խմբերի: Հետադոտված ֆոտոփոխակերպիչների առավելագույն օգտակար գործողության գործակիցը սպեկտրի կարմիր տիրույթում հավասար էր 9,2%:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Ю. А. Абрамян, Г. М. Авакьянц, А. А. Аракелян и др., Изв. АН АрмССР. Физика, т. 15, вып. 2 (1980). ² Ю. А. Аношин, Н. М. Бардина, А. К. Зайцева, Гелиотехника, № 1, 1983.